



EESTI MAAÜLIKOOL
Tartu Tehnikakolledž

Mihkel Ilves

Kuppelhoone sobivus veisekasvatuseks sisekliima näitajate järgi

**The suitability of dome for cattle breeding according to the
indoor climate indicators**

Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö
Biotehniliste süsteemide õppekaval

Juhendaja: dotsent Oliver Sada, PhD

Tartu 2017

Eesti Maaülikool		Rakenduskõrgharidus õppe lõputöö	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		lühikokkuvõte	
Autor: Mihkel Ilves		Õppekava: Biotehnilised süsteemid	
Pealkiri: Kuppelhoone sobivus veisekasvatuseks sisekliima näitajate järgi			
Lehekülgi: 38	Jooniseid: 27	Tabeleid: 6	Lisasid: 5
Osakond: Tehnika kolledž			
Uurimisvaldkond : Kupli sisekliima			
Juhendaja: Oliver Sada, PhD			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2017			
<p>Käesolevas lõputöös on käsitletud kuppelhoone kasutusvõimalusi lihaveisekasvatuse jaoks. Eestis pole kuplit varem loomakasvatushoonena kasutatud ning seetõttu puuduvad ka vastavad uuringud selle sobivuse või mitesobivuse kohta. Töö eesmärk oli kindlaks teha, kas kuppelhoones olevad sisekliimaatilised tingimused on sobilikud lihaveise kasvatuseks ilma lisaseadmeteta niiskuse ja temperatuuri reguleerimiseks. Töö jaguneb kahes peamiseks osaks. Esimeses osas antakse ülevaade veiste elementaarsetest pidamistingimustest, mis peavad kindlasti olema olemas: jootmine, söötmine ja sõnnikutootmise viisid. Lisaks on käsitluses nõuded ruumile ja sisekliimale veiste heaolu tagamise nimel ning antud ülevaade kuppelhoone olemusest. Antud töö praktilises osas on mõõdetud temperatuuri, suhtelist niiskust ja õhu liikumise kiirust ning neid on võrreldud veisele sobilike tingimustega. Selgus, et saju korral tõuseb niiskus kupli sees kiiresti ning lisaks loomakasvatusest tuleneva niiskusega võib kupli siseniiskus olla liiga kõrge loomuliku ventilatsiooni korral. Kindlasti tuleks antud teemat edasi uurida ning teha mõõtmiseid pikema perioodi jooksul.</p>			
Märksõnad: Temperatuur, suhteline niiskus, ventilatsioon, pidamistehnoloogiad			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Professional Higher Education Thesis	
Author: Mihkel Ilves		Speciality: Biosystems engineering	
Title: The suitability of dome for cattle breeding according to the indoor climate indicators			
Pages: 38	Figures: 27	Tables: 6	Appendixes: 5
Department: Tartu Technology College Field of research: Dome indoor climate Supervisors: Oliver Sada, PhD Place and date: Tartu, 2017			
<p><i>The purpose of this study is to find out if geodesic dome is suitable for cattle breeding. Since topic is unknown in Estonia, there hasn't been any studies if dome is suitable or not. The study helps to find out if indoor climate indicators and inside airflow is suitable with using only natural ventilation. Study splits into two main parts. In the first part there is given review about requirements set for cattle breeding: feeding, watering, waste management, area and inside climate indicators. Overview is given about geodesic dome also. In the practical part there where some measuring done: temperature, relative humidity and speed of the air flow inside dome. Results are compared on the basis of cattle welfare. In the results it was found out that humidity inside dome is increasing into the same level as outside if it's starts raining and if moisture added that will come from cattle breeding it could be too high with only natural ventilation. It's definitely necessary to analyse this topic more</i></p>			
Keywords: temperature, relative humidity, ventilation, breeding technologies			

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. Probleemi olemus.....	6
1.1. Kuplite lühikirjeldus.....	6
1.3. Pidamisviisid.....	6
1.4. Tehnoloogia kirjeldus.....	8
1.4.1. Jootmise tehnoloogiad.....	8
1.4.2. Söötmise tehnoloogiad.....	10
1.4.3. Sõnnikutootmise tehnoloogiad.....	11
1.5. Veisete kuuma ning niiskuse taluvus.....	14
1.6. Veisete pidamisnõuded.....	16
1.7. Ventilatsioon.....	17
2. Materjal ja metoodika.....	20
3. Tulemused, järeldused ja soovitused.....	24
KOKKUVÕTE.....	28
Kasutatud kirjandus.....	29
SUMMARY.....	31
LISAD.....	32
LISA 1.....	33
LISA 2.....	34
LISA 3.....	35
LISA 4.....	36
LISA 5. Lihtlitsents.....	37

SISSEJUHATUS

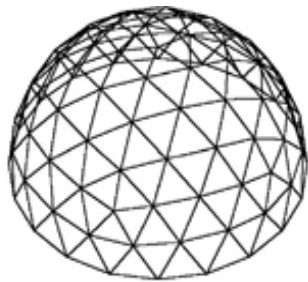
Lihaveiselauda tarbeks soovitakse ehitada tavapärase ristküliku kujulise põhiplaaniga hoone asemel ringikujulise põhiplaaniga kuppelehitist. Kuppelhooned lautadena on mingil määral levinud Inglismaal ümarlautade (inglise keeles *round barn*) nime all. Nende sein on silindri kujuline ning katusekonstruktsiooniks on kuppel. Siiani on geodeetiline kuppel levinud enim spordihallide või siis näituste hoonetena. Kuna Eestimaal on kuppel üldse vähe levinud, siis ei ole ka teada, kuidas toimub õhuliikumine kuplis sees erinevatel kõrgustel. Sisekliima parameetrite mõõtmise aluseks võeti Tartumaal Rahinge järve ääres asuv kontserthoone. Mõõdeti sisekliima peamised tegureid: õhutemperatuur, suhteline õhuniiskus ja õhu liikumiskiirus.

Töö eesmärk on teada saada, kas kuppelhoone on laudana kasutamiseks sobilik. Milliseid struktuure on kuplite ehitamiseks kasutatud. Lihaveiselauda puhul on oluline ka teada, kuidas saab kupli kujulises hoones korraldada söötmist, jootmist ning sõnnikueemaldust. Olulisele kohale kerkib ka valgustatuse ja ventilatsiooni küsimus – kui palju saab kupli sisemusse anda looduslikku valgust ning mil viisil on hoonet võimalik ventileerida nii, et see ka sademeid kinni peaks.

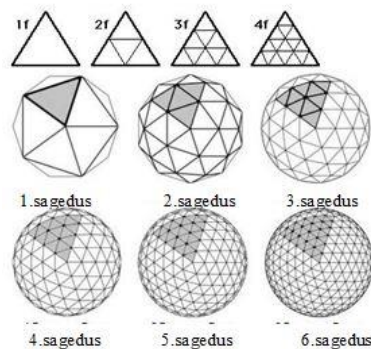
1. Probleemi olemus

1.1. Kuplite lühikirjeldus

Geodeetiline kuppel leiutati algselt 1922.aastal Saksamaal [1], kuid muutus populaarseks alles 1970. aastatel, kui müügile paisati komplektid, mida kodukasutaja sai ise kokku panna. USAs populariseeris kuppelehitisi sealne leiutaja, arhitekt ja matemaatik R. Buckminster Fuller, kes rõhutas selle väga tugevat konstruktsiooni [2]. Lihtsama käsitlese järgi koosneb sõrestik paneelidest mis on omakorda koostatud kolmnurkadest (Joonis 1). Enimkasutatavad materjalid on puit või metallist torud. Struktuuri tõttu ei vaja geodeetiline kuppel seemisi tugesid, mistõttu saab teha väga suure läbimõõduga tühju ruume.



Joonis 1. Geodeetilise kupli konstruktsiooni vaade [3]



Joonis 2. Kuppelhoonete sagedustasemed [4]

Kuppelkonstruktsioonidel on ka erinevaid struktuuriliseid lahendusi. Väiksemad hooned vajavad lihtsamat struktuuri, kuid läbimõõdu kasvades peab ka kupli struktuur olema keerukam. Kuplite erinevatel struktuuridel on sagedustasemed (Joonis 2). Sagedustasemed näitavad kui tihedalt on kolmnurkasid omavahel kokku liidetud. Kõige lihtsama konstruktsiooniga on esimese sagedustasemega kuppel.

1.2. Pidamisviisid

Veisekasvatustalu karja sooline ning vanuseline koosseis ehk struktuur sõltub söödabaasist,

olemasolevate loomakohtade arvust, erinevate tootmissuundade tasuvusest, poegimisperioodi pikkusest, lehmade karjas püsimisest, nuumloomade realiseerimisajast ja nii edasi. Eelnevaid tingimusi on iga talu puhul mõistlik vaadelda seega eraldi ja kohalikke tingimusi arvestades luua kõige parem karjastruktuur. Mida lihtsam on lauda tehnoloogiline plaan (soovitavalt ilma tugipostideta hoone sees), seda kergema vaevaga saab karja struktuuri tulevikus vajaduse või soovi korral ümber kujundada [5]. Siin kohal on ka kuppellauda üsnagi suur eelis – saab luua suhteliselt suure põrandapindalaga hoone ilma, et keset hoonet laiutaks tugipostid, mis hilisemaid karja ümberkujundamise võimalusi ahendavad. Karjastruktuuri loomisel on hea kasutada varasemate praktikate põhjal loodud tabelleid (Tabel 1.).

Tabel 1. Karja struktuur taastootmiseks [5]

Lehmade arv	Vanusegrupp, kuud					
	0...2	2...6	6...12	12...18	18...24	24...27
1. 10	1	2	2	2	2	1
2. 20	2	3	5	5	4	2
3. 30	3	5	7	7	5	3
4. 50	5	8	12	12	9	4
5. 75	7	12	18	18	13	7
6. 100	10	16	24	24	18	9
7. 200	20	32	48	48	36	18
8. 300	30	48	71	71	53	27
9. 400	40	63	95	95	71	36
10. 500	49	79	119	119	89	45
11. 600	59	95	143	143	107	53
12. 800	73	127	190	190	143	71
13. 1000	99	158	238	238	178	89

Veisete pidamisel on levinud kaks põhilist tehnoloogiat: **vabapidamine** ja **lõaspidamine**. Neist lõaspidamise osatähtsus on pidevas vähenemises. Pidamistehnoloogia valitakse sõltuvalt veise soost, vanusest, karja suurusest. Vabapidamine tagab loomadele paremad liigiomase ja sotsiaalse käitumise võimalused. Lõastamata võib pidada kõiki toodangu- ja vanuserühmi [6].

1.3. Tehnoloogia kirjeldus

1.3.1. Jootmise tehnoloogiad

Tähtsuse järjekorras on piisava puhta vee olemasolu loomakasvatushoonetes üks olulisemaid elemente. Veisekasvatusega tegelevates farmides kasutatakse vett loomade jootmiseks kui ka seadmete ja inimeste pesuks, ehk siis ilma veeta ei ole võimalik loomakasvatusfarmi üleval pidada.

Puhas joogivesi peab veistele olema alati kättesaadav. Selle kulu sõltub suuresti sellest, milline on kasutatava sööda kuivaine sisaldus – mida suurem on sööda kuivaine sisaldus, seda väiksem on tarbitava joogivee hulk. Loomade vabapidamisel on enamasti kasutusel individuaal- või grupijooturid ning lõaspidamisel individuaaljooturid [5].

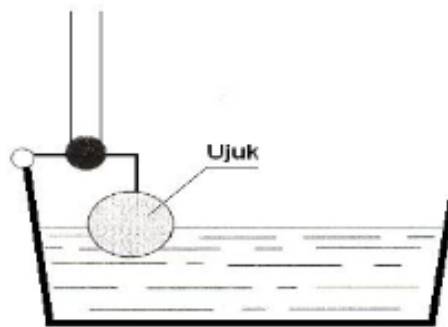
Vee sügavus jooturis peab olema vähemalt 0,06 – 0,07 meetrit. Jooturi ülemine serv peab olema joogivee tasemest 0,05 – 0,1 meetrit kõrgemal [7]. Loomade jootmiseks on oluline kasutada vaid töökorras ning kergesti puhastatavaid jootureid. Jooturite puhastamiskergus on oluline hooldustöid teostades ning aitab vähendada tööjõule tehtavaid kulutusi. Jooturite puhtust tuleks kontrollida vähemalt üks kord ööpäevas. Seda harvem tehes võivad jooturite kausid täituda söödaga ning ummistuse korral võivad hakata tõrkuma – kas pealevool lakkab või pealevoolu klapp ei sulgu enam ning tekib puhta vee kulu.

Jooturite veetootlikkus ei tohiks olla väiksem kui $0,0001 - 0,0003 \text{ m}^3/\text{s}$ ühe looma kohta [5, 7]. Individuaalsete kaussjooturite maht on enamasti $0,0015 - 0,003 \text{ m}^3$. Avatud künajooturi soovituslik mahutavus on $0,2 \text{ m}^3$. Ühe jooturi kohta võib arvestada maksimaalselt 6 – 10 looma [7].

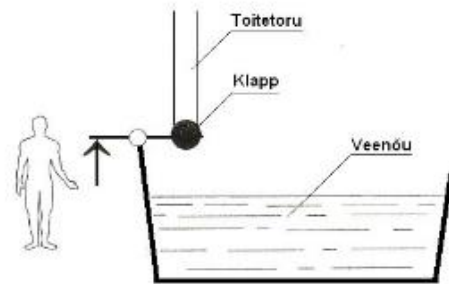
Järgnevalt on välja toodud levinumad veisefarmides kasutatavad jootmisseadmed:[5]

1. Jootmisnõu (Joonis 4) – anum, mida peab operaator ise täitma
2. Nivoojootur (Joonis 3) – jootur, mille korral reguleeritakse vee hulka anumal ujuki abil
3. Elektrisoojendusega nivoojootur (Joonis 6) – sarnaselt nivoojooturiga soojendatakse vett vahetult veenõus

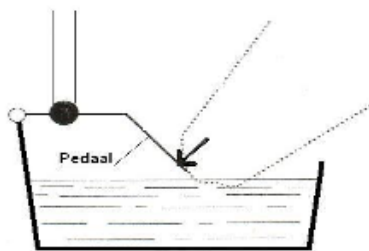
4. Ninajootur (Joonis 5) – jootur, mis täitub siis kui loom juues vajutab ninaga vee voolu reguleeriva klapi alla
5. Kaaljootur (Joonis 7) – veeanum asub kaalukangil ning klapi, mis reguleerib vee juurdevoolu jooturisse, avanemine-sulgumine toimub tasakaalutingimustel
6. Termos(pall)jootur (Joonis 8) – tavaliselt kahe jootmiskohaga. Vee külmumine ja reostumine hoitakse ära veepinnal ujuvate pallide ja hästi isoleeritud korpusega.



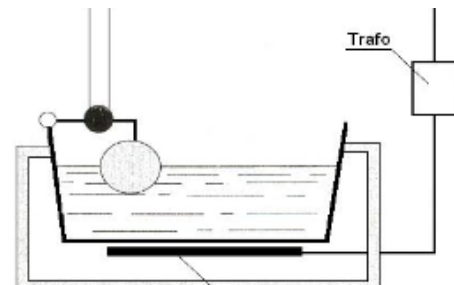
Joonis 3. Nivoojooturi skeem [5, 7]



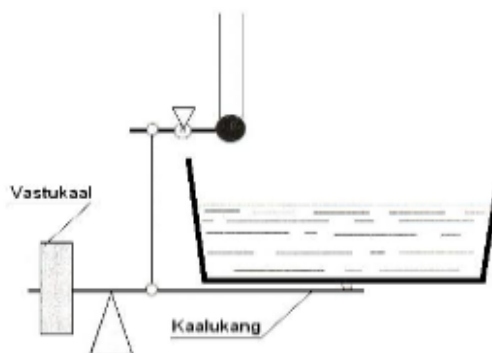
Joonis 4. Jootmisnõu skeem [5, 7]



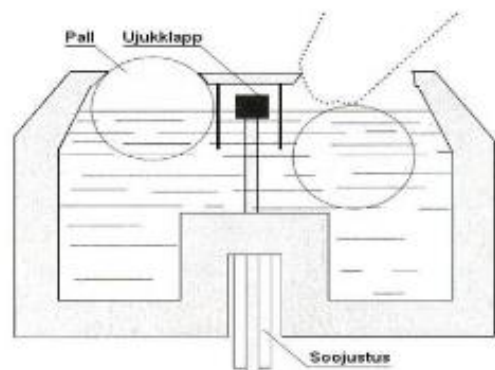
Joonis 5. Ninajooturi skeem [5, 7]



Joonis 6. Elektrisoojendusega nivoojootur [5, 7]



Joonis 7. Kaaljooturi skeem [5, 7]



Joonis 8. Termos(pall)jootur [5, 7]

1.3.2. Söötmise tehnoloogiad

Olulisel kohal jootmise kõrval on loomafarmides ka söötmine. Kuna leitakse, et veistel peaks heaolu tagamiseks pidevalt sööt ees olema [8], on oluline kasutada võimalikult efektiivseid söötade laadimise ja jagamise seadmeid, et kulusid madalana hoida. Seda enam, et söötmist ei saa täielikult automatiseerda nagu seda on jootmine või vedelsõnnikute eemaldus.

Söötade laadimiseks söödalaost kasutatakse enamasti traktorite külge kinnitatavaid frontaallaadureid (Joonis 9), millega sööt tõstetakse hoidlast söödasegamismiksrise. Miksreid on järelveetavaid (Joonis 10) kui ka iseliikuvaid (Joonis 11). Järelveetavad haagitakse tavaliselt kas selle sama traktori järgi, mis sööta laadib, või on selle jaoks eraldi masin. Järelveetava eeliseks on see, et vedukit saab ka muuks otstarbeks kasutada kui parasjagu söötmist ei toimu, näiteks söödakäikude puhastus, sõnnikueemaldus ja muud vajalikud tööd farmis. Iseliikuvad masinad on suurema manööverdamisvõimega ning üldiselt ka võimsamad ehk siis sobivad suurematesse loomafarmidesse. Mobiilsetele seadmetele kinnitatakse ka freesi, millega saab hoidlast ilma kõrvalise abita segada õige kogus sööta vastavalt söödaratsioonile (Joonis 11).



Joonis 9. Fronaatlaaduriga traktor [9]



Joonis 10. Järelveetav söödamikser [10]



Joonis 11. Iseliikuv freesiga söödamikser [11]



Joonis 12. Automaatne söötmissüsteem Triomatic T20 [12]

Kuna loomade heaolu seisukohast on oluline neid võimalikult vähe häirida [5], näiteks uste pideva avanemise-sulgemine, traktori müra ja heitgaaside näol, on viimasel ajal levima hakanud ka statsionaarsed söötmissaadmed – rööbastel liikuvad ettemääratud trajektooriga söödarobotid (Joonis 12). Söödarobot suudab ise vahelaost sööda võtta ning võimeline selle ka loomadele ette jaotama. Selliselt häiritakse loomi vähem kuigi selliste masinate tootlikkus on väiksem – need ei suuda korraga nii palju sööta ette kanda, kui miksritega ning nende lahenduste väljaehitamine on kulukam. Robot tuleks lauta planeerides juba sisse arvestada ning rekonstrueeritavatesse hoonetesse on neid keerukam paigaldada. Kuid robotid aitavad jällegi kaasa farmi automatiseerimisele ning võimalik on hoida kokku tööjõukuludelt

1.3.3. Sõnnikutootmise tehnoloogiad

Sõnnikut tekib igas loomafarmis. Sõltuvalt allapanu kogusest toodetakse kõrvalproduktina veisefarmis erinevat tüüpi sõnnikut. Küllaldase allapanu koguse korral saadakse allapanu- ehk tahesõnnik, ebapiisava allapanu koguse korral poolvedel sõnnik või vedelsõnnik. Sõnniku tüüpe liigitatakse sõltuvalt kuivaine sisalduse järgi tahe-, poolvedel- ja vedelsõnnikuks[5] (Tabel 2).

Tabel 2 Erinevate sõnnikutüüpide omadused [5]

Omadus	Sõnnikutüüp			
	vedelsõnnik	poolvedel sõnnik	tahe sõnnik	sügavallapanu sõnnik
1. Kuivaine sisaldus	<8 %	8...17 %	17...25 %	>25 %
2. Käitlusviis	pumbatav	pumbatav kolbpumbaga	virnastatav kuni 1 m	virnastatav üle 2 m
3. Säilituskeskkond	hapnikuvaba	suhteliselt hapnikuvaba	hapnikuvaene	hapnikurikas
4. Mahumass, kg/m ³	1000	750...950	600...750	<600
5. pH	7	7...9	8...9	8...9

Sügavallapanuga lauda puhul loomad puhkavad sõnnikukihil ning selle eemaldamine laudast toimub 1...2 korda aastas. Loomade söötmine toimub tavaliselt lamamisala küljel paiknevalt söödalavalt [13].

Sügavallapanuga lautadel on järgnevad eelised [13]:

1. Madalamad ehituskulud – automaatse sõnnikueemaldussüsteemi väljaehitamine ei ole vajalik
2. Hoonet on võimalik kasutada ka muuks otstarbeks – põrandad on tasapinnalised ning puuduvad rennid, mis kasutusotstarbe muutumise korral ahendaks kasutusvõimalusi
3. Ei ole vaja ehitada sõnnikuhoidlat – sõnnikut saab lauta koguda seni, kuni tekib võimalus seda kasutada.
4. Piisava allapanukoguse puhul ei teki virtsa – allapanu imab suurema osa vedelikest endasse
5. Võimalik kasutada suuri allapanu koguseid
6. Kompusteerunud sõnnik sisaldab vähe umbrohuseemneid ning haigusttekitavaid baktereid
7. Sõnnik põllule laotatuna parandab mulla struktuuri
8. Loomade vigastuse oht ülestõusmisel on minimaalne – allapanuta pidamisel võivad loomad libiseda ning kukkuda. Sügavallapanuga libastusohk puudub
9. Laudaõhk on üldjuhul puhtam kui lõaspidamisega soojustatud laudas
10. Mastiidi oht on väike

Sügavallapanu kasutamise puhul on siiski plusside kõrval ka mitmeid puuduseid, millega peab arvestama [13]:

1. Vajatakse väga suuri allapanukoguseid (ööpäevas looma kohta 8...10 kg põhku, aastas 1500...2000 kg)
2. Loomi ei saa individuaalselt sööta – aedikute paigaldamine lauta muudab hilisemat sõnnikueemaldust keerukamaks
3. Veetorustiku külmumisoht, kuna temperatuur laudas on vaid 4°C võrra kõrgem kui välistemperatuur
4. Suvel võib päike lauda väga kuumaks kütta
5. Hoone peab olema kõrge – sõnnikukiht on pidevas kasvamises.

Sügavallapanuga lautade põrandad ehitatakse tavaliselt betoonist. Lamamisala põrandate ehitamiseks kasutatakse mõnikord ka tihendatud kruusa või paesõelmeid, kuid siis peab sõnniku väljavedamisel olema ettevaatlikum [13]. Sõnnikukihi paksus on aastase pidamise korral 1,2...1,5 meetrit [5]. Sõnnikuga otseses kokkupuutes olevad ehituskonstruktsioonid peaksid olema betoonist [5, 13]. Seina projekteerimisel tuleks lisaks sõnnikukihi külgsurvele arvesse võtta ka sõnniku väljavedamisel tekkida võivaid koormusi – näiteks laaduriga vastu seinu rammimist kopa täitmiseks [13]. Seetõttu kupli kasutamise puhul peaks konstruktsioon jääma loomadele ligipääsmatusse ulatusse – kas toetuma betoonist kõrgema vundamendi peale või peab loomade juurdepääs olema piiratud täiendava aiaga.

1.4. Veisete kuuma ning niiskuse taluvus

Sarnaselt inimestega, mõjutab ilmastik ka veisete tervist ja heaolu. Kestev kõrge õhuniiskus ning kuumus võivad veise ülekuumenemist tekitada. Kuumastressis olev veis tunneb end ebamugavalt ning ei söö korralikult, millest tulenevalt loomade juurdekasv nii vasikatel kui ka täiskasvanud loomadel on aeglasem kui võiks. Liiga ekstreemsetes oludes võib loom surra. Samamoodi nagu mõjub stressi tekitavalt kuumus, mõjub ka liiga külm keskkond. Külмага toimetulekuks kasutab keha varuna olevat rasva ning seetõttu võib kaal langema hakata.

Õhutemperatuurid vahemikus 20...21°C on kõige sobivamad, kuna siis ei pea keha kasutama täiendavat energiat enda jahutamiseks või soojendamiseks. See, kui hästi loom suudab vastu panna keskkonna tingimuste muutumisele sõltub looma tõust, karvkatte pikkusest, vanusest, eelnevast tervislikust seisundist, toidust, tiinuse astmest. [14]

Ülemine mugavuspiir veise heaolule temperatuuri näol on umbes 24°C, kuid see sõltub tõust, suurusest ja looma värvusest. Heledama karvkattega loomadel on kõrgemate temperatuuride korral eelis tumedamate loomade ees. Seda sellegärast, et heledam karvkate peegeldab rohkem soojust ära ning neeldumine on seega väiksem. Siiski on heledamal loomal suurem tõenäosus saada päikesepõletust.

Kui keha temperatuur saavutab kriitilise taseme 41,7°C, võib loom kokku kukkuda ning süda seiskuda. Looma kehatemperatuuri nii kõrgele tõustes esinevad kuumarabandused, eriti veel kui piisavalt vett ei ole kättesaadav. Kuumastressi elavad raskemalt üle ka suuremad loomad - neil on suurem lihassmass ning see toodab rohkem sooja kui väiksematel loomadel. Kogukamatel lihastel on rohkem soojust, mis peab ära jagunema kehapiindala peale massi kohta, seetõttu on ka üleliigsest soojusest raskem vabaneda. Väiksemad loomad saavad kuumemate temperatuuridega seega ka paremini hakkama [14].

Niiskuse temperatuur mängib suurt rolli. Kuuma ja kuiva kliimaga tuleb veis paremini toime kui kliimaga, kus niiskuse sisaldus on kõrge. Näiteks veis kõrbepiirkondades vee ja varjualuse olemasolul ei koge kuumastressi, kuna õised temperatuuri langused võimaldavad keha temperatuuri piisaval määral alandada.

Faktorid mis takistavad soojuse eraldumist loomalt keskkonda on kõrge õhutemperatuur, kõrge õhuniiskus, puudulik õhuvahetus ja otsene päikesevalgus.

Kui veisel on piisav karvkatte paksus, siis ei teki tal probleeme toime tulekuks temperatuuridel kuni -7°C . Temperatuuride langusel alla selle peab loom hakkama soojuskadude kompenseerimiseks kasutama kogutud energiavarusid.

Kriitiline välisõhu temperatuur kuiva suvise karvkatte korral on $3,9^{\circ}\text{C}$, märjalt aga 15°C . Kuiva õhukese talve kasukaga on kriitiline punkt 0°C , paksema karvkatte korral $-7,8^{\circ}\text{C}$ [14]. Nende temperatuuride puhul loom suudab kasvada ning ei pea kehatemperatuuri hoidmiseks kasutama kogutud energiavarusid.

Lihaveise kogu soojuseraldus sõltub looma massist, liha produktsioonist, tiinuse kestvusest ning sööda energia kontsentratsioonist kuivaine kohta ning selle arvutamiseks kasutatakse alljärgnevat valemit 4.1.[15: 42].

$$\Phi_{tot} = 7,64m^{0,69} + Y_2 \left(\frac{23}{M} - 1 \right) \left(\frac{57,27 + 0,302m}{1 - 0,171Y_2} \right) + 1,6 \cdot 10^{-6}p^3, \quad (1.1.)$$

kus on Φ_{tot} – veise kogu soojuseraldus (W);

m – looma mass kg;

p – päevade arv, mille jooksul loom on tiin e olnud;

Y_2 – liha produktsioon $\frac{\text{kg}}{\text{päevas}}$;

M – sööda energia kontsentratsioon $\frac{\text{MJ}}{\text{kgkuivainet}}$.

Looma soojusproduktsioon on oluline lauda sisekliima projekteerimisel, et planeerida lauda ventilatsiooni võimsust või soojustamist.

1.5. Veisete pidamisnõuded

Loomade kasvatamiseks on meie Vabariigis loodud erinavad nõuded, mida tuleb järgida [16, 17]. Näiteks nõuded kasutatava ruumi suurusele ja sisekliima parameetritele. Nendest nõuetest lähtudes tuleb loomakasvatuse jaoks tehnikat, hooneid ja seadmeid projekteerida. Nõuded on kehtestatud lähtuvalt loomade heaolust, sanitaar-tehnilistest tingimustest, ohutustehnikat järgides ja arvestades tehnikat käsitleva töötaja ergonoomilisi näitajaid. Lisaks veel tuleb silmas pidada hooldatavust ja remonditavust.

Loomade heaolu tagamise all mõistetakse üldiselt loomade kaitset inimese sellise tegevuse või tegevusetuse eest, mis ohustab või võib ohustada loomade tervist või heaolu [17]. Loomade heaolu saab määratleda käitumise, füsioloogiliste vajaduste rahuldamise, stressitaseme ja tervisliku seisundi kaudu. Tulenevalt loomade heaolu mõistest, tuleb loomade piiratud alal pidamisel anda neile piisav liikumisruum, lähtudes Riigi Teatajas (RT) 2009, 69, 1017 [18] toodud tingimustest. Nõuded loomalaudade põrandapindaladele looma kohta on rühmas pidamise (Tabel 3) kui ka vabapidamise (Tabel 4) kohta võimalik RT leida.

Tabel 3 Nõuded põrandapinnale lähtuvalt looma vanusest või kaalust [18]

Lihaveise vanus (kuu)	Muu veise vanus (kuu)	Veise keskmine kaal looma kohta (kg)	Restpõrandaga aedik (m ² /loom)	Perforeerimata põrandaga aedik (m ² /loom)
1. 6–9	8–12	200–300	1,8	2,5
2. 9–13	12–15	300–400	2,0	3,0
3. 13–15	15–20	400–500	2,3	3,5
4. üle 15	üle 20	üle 500	2,5	4,0

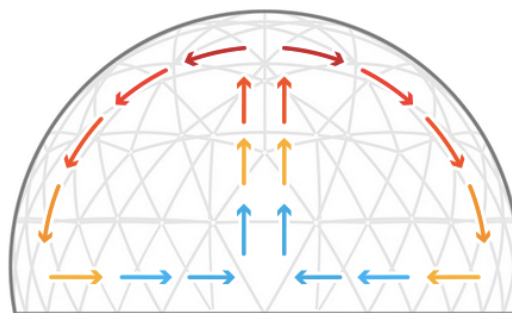
Tabel 4. Nõuded lamamisaseme mõõtudele lähtuvalt looma vanusest või kaalust [18]

Veise vanus (kuu)	Veise keskmine kaal looma kohta (kg)	Lamamisaseme pikkus (m)	Lamamisaseme laius (m)
1. 2–6	175	1,70–1,90	0,80–0,90
2. 6–18	350	1,90–2,00	0,90–1,00
3. 18–22	500	2,00–2,10	1,00–1,20
4. üle 22	700	2,10–2,40	1,20–1,30

1.6. Ventilatsioon

Ventilatsioon tähendab õhuvahetust ruumis. Ruumi ventilatsiooniks loetakse ruumi varustamist puhta õhuga ja ruumist õhu ning koos sellega ruumis tekkinud saasteainete eemaldamist [19]. Kuppelhoone puhul tõuseb soe õhk keskel üles ning langeb mööda servasid alla, samal ajal jahtudes (Joonis 13).

Ventilatsiooni abil võib ruumist eemaldada ka soojust, kui sissepuhkeõhk on jahedam kui ruumiõhk. Vaatamata sellele, et ruumist soojuse eemaldamine või selle soojusega varustamine võib vajada suuremat õhuvoolu-



hulka kui õhu kvaliteedi tagamine, on viimane alati ruumi ventilatsiooni peaülesanne [19].

Joonis 13. Õhu ringlus kuppelhoones [20]

Loomadelt erituva veeauru ja laudaruumis tekkivate kahjulike ühendite eemaldamiseks ning laudaõhu temperatuuri ja niiskuse hoidmiseks ettenähtud piirides tuled veiselauta õhustada [13]. Talveperioodil on ventilatsiooni põhiülesandeks viia ruumi täiendavat hapnikku ning eemaldada ruumist liigne niiskus. Kevadel, suvel ja sügisel lisandub ka sisetemperatuuri alandamine.

Tabel 5. Veise ventilatsioonivajadused ühe looma kohta [5]

Veise grupp	Mass, kg	t_s , °C	P_{lv} , W	Veeaur, g/h	q_{min} , m ³	q_{max} , m ³
Vasikas	75	12	100	75	10	55
	150	12	250	150	20	100
	300	12	400	200	30	150
Mullikas	400	12	500	300	40	200
	500	12	600	400	50	240
Lihaveis	300	12	400	450	55	180
	500	12	550	500	80	230
	600	12	600	750	110	250

1. Loomulik ventilatsioon – loomulik ventilatsioon on looduslike mõjude kasutamine ilma lisaseadmeteta, et reguleerida hoone sisekliimat. Kasutatakse ära tuult ning selle liikumist läbi hoone projekteeritud avade kaudu – aknad, ukse, õhutuspilud. Loomulik ventilatsioon sõltub suuresti välistingimustest, hoone disainist ja inimese käitumisest [21].

2. Sundventilatsioon – sundventilatsiooni korral pannakse õhk liikuma ventilaatorite abil [4]. Ventilaatoreid saab paigaldada uste ja akende ette või õhukanalite juurde, et imeda õhku ruumi sisse või puhuda välja. Sundventilatsiooni kasutamise tüüp sõltub väliskliimast ja millist sisekliimat soovitakse saavutada [21].
3. Hübriidventilatsioon – kasutusel on paralleelselt loomulik ventilatsioon kui ka sundventilatsioon. Sundventilatsioon kasutatakse siis kui loomuliku ventilatsiooni teel ei suudeta hoone sisekliimale esitatud tingimusi täita [21].

Varasemalt kasutati ainult loomulikku ventilatsiooni, kuid elektrivõrgu kättesaadavamaks muutumisega ja tehnika arenguga hakkas arenema ka sundventilatsioon. Sundventilatsiooni hakati eelistama, kuna arvati, et sundventilatsiooni töö on ettearvatavam, rohkem kontrollitav, töökindlam ja efektiivsem [15].

Lauda sisetemperatuuri tõusuga suureneb sõnniku temperatuur, mis põhjustab ammoniaagi eraldumise kasvu. Lisaks temperatuurile sõltub ammoniaagi eraldumine ka õhuvahetuse kiirusest. Mida kiirem laudas õhu vahetus on, seda suurem on lenduva ammoniaagi kogus. Loomuliku ventilatsiooniga lautades sõltub õhuvahetuse kiirus välis- ja sisetemperatuuri erinevusest [22]. Ammoniaagi lenduvus on väiksem külmlautades, kuna neil lautadel on lauda siseõhutemperatuur otseselt sõltuv välistemperatuurist. Lõastatud pidamisviisi korral lendub keskmiselt viis, vabapidamisega lautades kümme, sügavallapanul pidamisel aga seitse protsenti kogu väljaheidetes sisalduvast lämmastikust. Ammoniaagi lendumist laudas suurendab restpõrandate ja vähese allapanu kasutamine, samuti ebakorrapärane sõnniku eemaldamine [22].

Mistahes soojustatud ruumis peab püsiva temperatuuri hoidmiseks kütteseadmete ja loomade poolt toodetav soojushulk võrduma soojuskadudega läbi välispiirete ja ventilatsiooni. [5]

$$P + P_{lv} = P_p + P_{vent} , \quad (1.2.)$$

kus P – kütteseadmete abil toodetav soojushulk W ;

P_{lv} – loomade poolt toodetav soojus W ;

P_p – Soojuskaod läbi (välis)piirete W ;

P_{vent} – Soojuskaod ventilatsiooni tõttu.

Soojuskaod läbi (välis)piirete arvutatakse valemiga

$$P_p = (u_i \cdot A_i \cdot (t_s - t_v)) \quad (1.3.)$$

kus u_i – (välis)piirde soojusjuhtivus W/m^2 ;

A_i – (välis)piirde pindala m^2 ;

t_s – ruumi sisetemperatuur $^{\circ}\text{C}$;

t_v – välistemperatuur $^{\circ}\text{C}$.

Soojuskaod ventilatsiooni tõttu arvutatakse valemiga

$$P_{vent} = q_{min} \cdot c_p \cdot (t_s - t_v), \quad (1.4.)$$

kus q_{min} – minimaalne õhuvahetus talvel m^3 ;

c_p – Õhu erisoojus $\text{Wh}/(\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$;

c_p – $0,35 \text{Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{celsius})$.

Kui soojusbilanss on positiivne (1.5.), eemaldatakse liigne soojus ventileerimise teel.

$$P + P_{lv} > P_p + P_{vent} \quad (1.5.)$$

Negatiivse soojusbilansi (1.6.) korral tuleb (välis)piirdeid lisasoojustada või tõsta ruumi kütteseadme võimsust.

$$P + P_{lv} < P_p + P_{vent} \quad (1.6.)$$

Valemid 1.2. – 1.6. on vajalikud, et määrata, kui palju on vaja ruumi ventileerida või kas piirdeid tuleb lisasoojustada või ruumi rokem kütta.

2. Materjal ja metoodika

Sisekliima parameetrite mõõtmised teostati Tartumaal asuvas eksperimentaalses kuplis läbimõõduga 24 meetrit ja kõrgusega 12 meetrit (Joonis 14, Joonis 16 ja Joonis 17). Kuppel on metalltoru-konstruktsiooniga ning on kaetud polüvinüülkloriidist (PVC) kattematerjaliga. Materjalide kasutuse poolest sarnaneb see Eestis kasutatava telklaoga, kuid selle kuju on unikaalne võrreldes levinud nelinurkse põhiplaaniga ladudega. Konstruktsiooni kolmnurktippudes on torude otsad kokku pressitud ning nendest auk läbi puuritud, misjärel on need ühendatud polt-liite abil. Kattematerjal on kinnitatud telgi sisekülgedest kogu ümbermõõdu ulatuses 2 meetri kõrguselt (Joonis 15).



Joonis 14. Mõõteobjektiks olnud kuppel, heledam laik kattematerjalil on valgust läbilaskev



Joonis 15. Konstruktsiooni detailide ja kattematerjali kinnitusviis

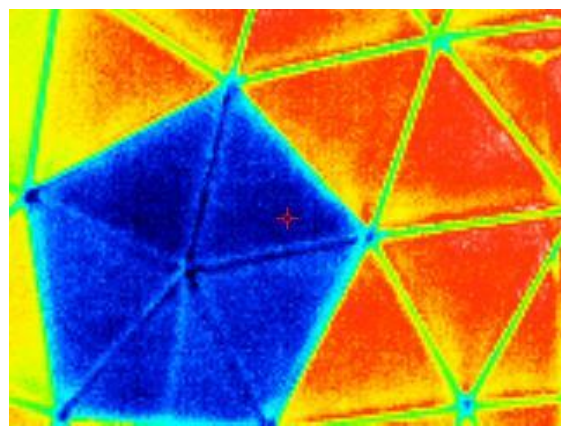
Mõõtmistega alustati 28.aprillil 2017 aastal kell 13:00. Mõõdetavateks sisekliimaparameetriteks olid suhteline niiskus (W , %), temperatuur (T , °C) ja õhu liikumise kiirus (v , m/s). Mõõdeti kupli sees viies erinevas punktis viiel erineval kõrgusel. Neli mõõtmispunkti valiti põhja-lõuna suunaliselt kompassi abil ning viies punkt kupli keskel (Joonis 19). Mõõdetavad kõrgused olid valitud arvestades veise parameetreid. Lähtepunktiks kõrguste määramisel sai valitud maapind, mis oli ühtlasi mõõteobjekti põrandaks. Mõõtekõrgused olid 0,1 meetrit, 0,5 meetrit, 1 meetrit, 1,5 meetrit ja 2 meetrit (Joonis 18). Igas punktis mõõdeti kuuekümneme sekundit jooksul intervalliga kümne sekundit. Andurite stabiliseerimisajaks määrasin 60 sekundit, et andurite liigutamise tekkinud keskkonna muutused ei mõjutaks mõõtmis-

tulemusi. Andmete töötlemise lihtsustamiseks algas iga mõõtmine täpselt kuuekümnend sekundit täitumisel, et neid pärast oleks kergem eraldada ja sorteerida. . Kohtmõõtmistel on mõõteseadmena kasutatud Almemo 2690 loggerit [23], mille külge on ühendatud andurid temperatuuri, niiskuse ja õhu liikumiskiiruse fikseerimisteks. Andurid olid kinnitatud statiivile (Joonis 20 ja Joonis 22) Andmed mõõteandurite kohta on toodud Tabel 6.

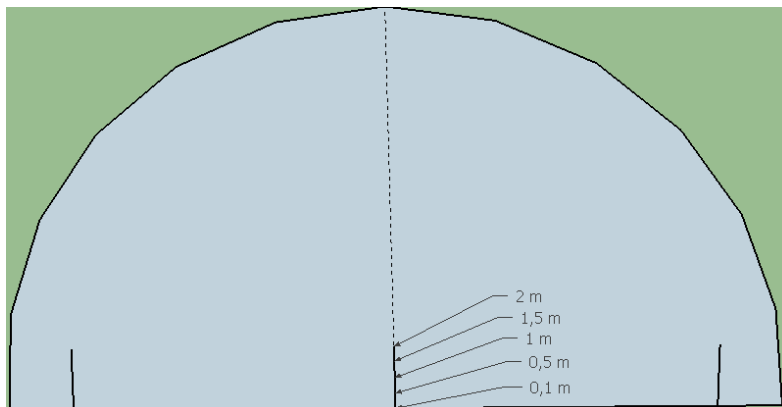
Mõõtmised tehti kõrgusel 0,1; 0,5; 1,0; 1,5 ja 2 meetrit. Mõõteandmeid on töödeldud andmetöötlusprogrammiga MSExcel, leiti miinimum, maksimum ja keskvaartused. Et ööpäevast kupli sisekliima muutust paremini hinnata, tehti ka ööpäevaringne temperatuuri ja niiskuse mõõtmine. Selle jaoks kasutati Comet S3120 mõõteseadet, mille temperatuuri mõõtevahemik on $-30...+70^{\circ}\text{C}$ ja suhtelise niiskuse mõõtevahemik $5...95\%\text{RH}$ (Tabel 6). Mõõtetäpsus on $\pm 0,04^{\circ}\text{C}$ ja $\pm 2,5\%$ 23°C juures. Ööpäevaste mõõtmiste jaoks kasutati kahte seadet. Neist üks paigaldati 0,5 meetri kõrgusele ning teine 2 meetri kõrgusele (Joonis 21). Mõõtepunktiks valiti ühtlasema tulemuse saamiseks kupli keskpunkt. Ööpäevaringsete mõõtmistega alustati 15:00 ning lõppes mõõtmine järgmisel päeval samal ajal. Mõõteseadmete üles seadmise päeval oli üsnagi soe küllaltki pilvitu ilm välisõhu temperatuuriga $9...11^{\circ}\text{C}$ ja suhtelise õhuniiskusega 65% ning tuulekiirusega kuni 2m/s. Intensiivse päiksepaiste oli kupli katematerjali ka erinevalt soojendanud ning see avaldus ka mõõtmistulemustes. Ööpäevase mõõtmise korral hakkas hommikul päikesetõusu ajal sadama ning sellest tulenevalt kasvas järsult õhuniiskus ning langes temperatuur. Seetõttu ei olnud võimalik öelda, kui kiiresti kasvab kupli sisetemperatuur välisõhu temperatuuri tõustes.



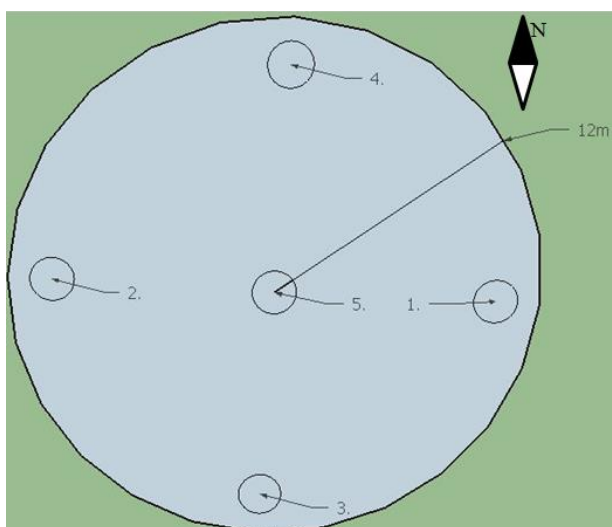
Joonis 16. Kupli sisevaade konstruktsioonist, kattest ja valgusavast



Joonis 17. Kupli termopilt



Joonis 18. Hoone lõige mõõtmispunktide kõrgustest



Joonis 19. Pealtvaade mõõtepunktide asukohast 1 - 5

Tabel 6. Mõõtmistel kasutatud andurid

Andur	Mark	Mõõdetav suurus	Mõõtevahemik
1. Almemo	FH A646-E1	temperatuur	-20...+60°C
		suhteline niiskus	5...98%F
	FV A645-TH2	õhu liikumise kiirus	0...2m/s
2. Comet	S3120	temperatuur	-30...+70°C
		niiskus	5...95%F



Joonis 20. Suhtelise niiskuse, temperatuuri ja õhu liikumise kiiruse mõõtmine 2 meetri kõrgusel ja kahe meetri kaugusel seinast



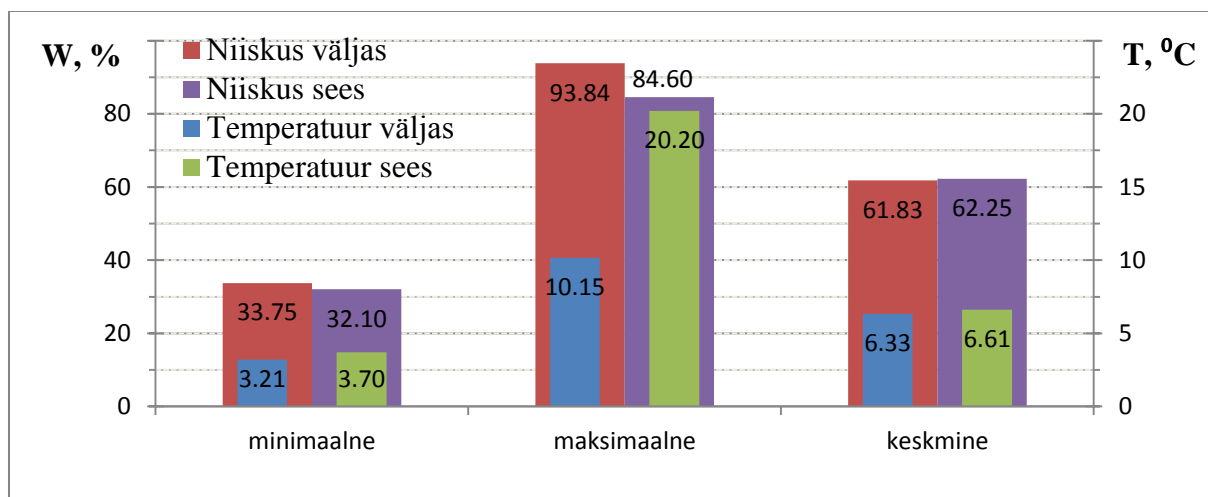
Joonis 22. Suhtelise niiskuse, temperatuuri ja õhu liikumise kiiruse mõõtmine 0,5 meetri kõrgusel 2 meetrit seinast



Joonis 21. Suhtelise niiskuse ja temperatuuri ööpäevane mõõtmine kahe meetri kõrgusel poomil

3. Tulemused, järeldused ja soovitused

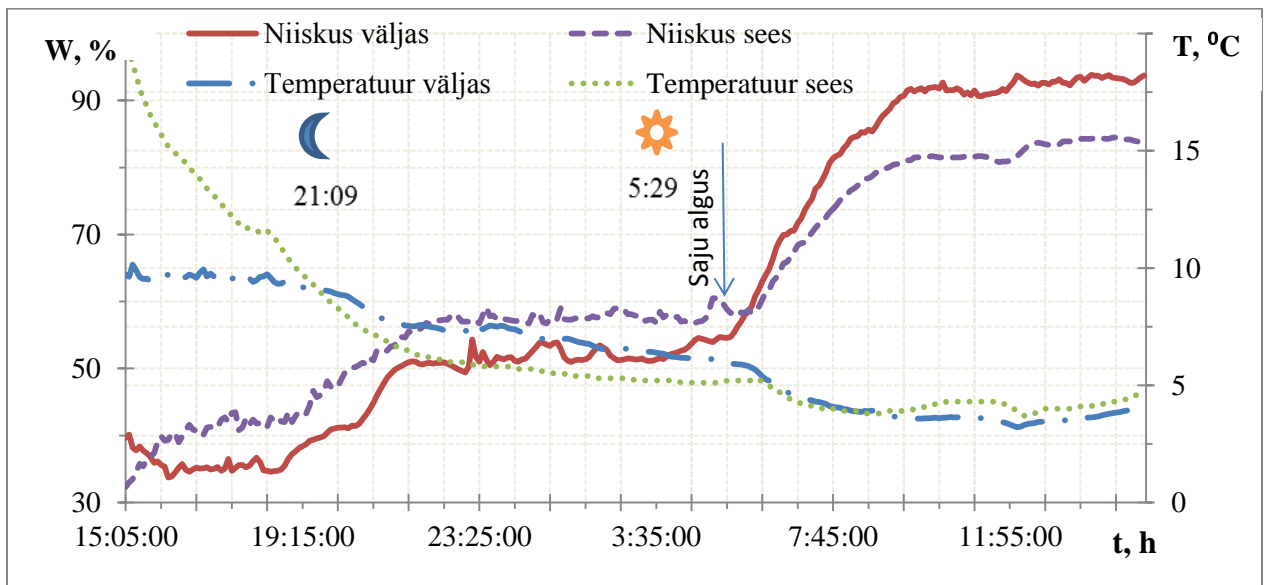
Ööpäevaste mõõtmiste kohta leiti temperatuuri (T , $^{\circ}\text{C}$) ning niiskuse (W , %) maksimaalsed, minimaalsed ja keskvaartused (Joonis 23). Ööpäevaringsete mõõtmiste keskmiseks tulemuseks oli niiskuse korral 62,25 % ja temperatuuri puhul $6,61^{\circ}\text{C}$ kupli sees. Väljas oli keskmiseks niiskuseks 61,83% ja keskmiseks temperatuuriks $6,33^{\circ}\text{C}$. Tulemused on mõjutatud sellest, et mõõtmisi alustades oli ilm sademeteta, kuid päikesetõusul hakkas sadama ning sellest tõusis ka niiskus ning langes temperatuur. Niiskuse maksimaalseks väärtuseks jäi 84,60 % siseruumides ning 93,84 % välitingimustes. Temperatuuri puhul olid maksimaalseteks väärtusteks $20,20^{\circ}\text{C}$ sees ning $10,15^{\circ}\text{C}$ väljas. Minimaalseks temperatuuriks sees oli $3,70^{\circ}\text{C}$ ja väljas $3,21^{\circ}\text{C}$. Minimaalseks niiskuseks jäi sees 32,10 % ja väljas 33,75 %. Leiti sisekliima temperatuuri ja suhtelise niiskuse sõltuvuse tõenäosus ning tema usaldusväärsus R^2 (Joonis 26). Kuplis toimuvat sisekliima parameetri temperatuuri ja niiskuse muutust saab ööpäevaringse mõõtetulemuse põhjal prognoosida eksponent funktsiooni abil, kus korrelatsioonikordaja R^2 oli 0,82 (Joonis 26).



Joonis 23. Ööpäevase niiskuse ja temperatuuri mõõtmise minimaalsed, maksimaalsed ja keskmised väärtused sees ja väljas

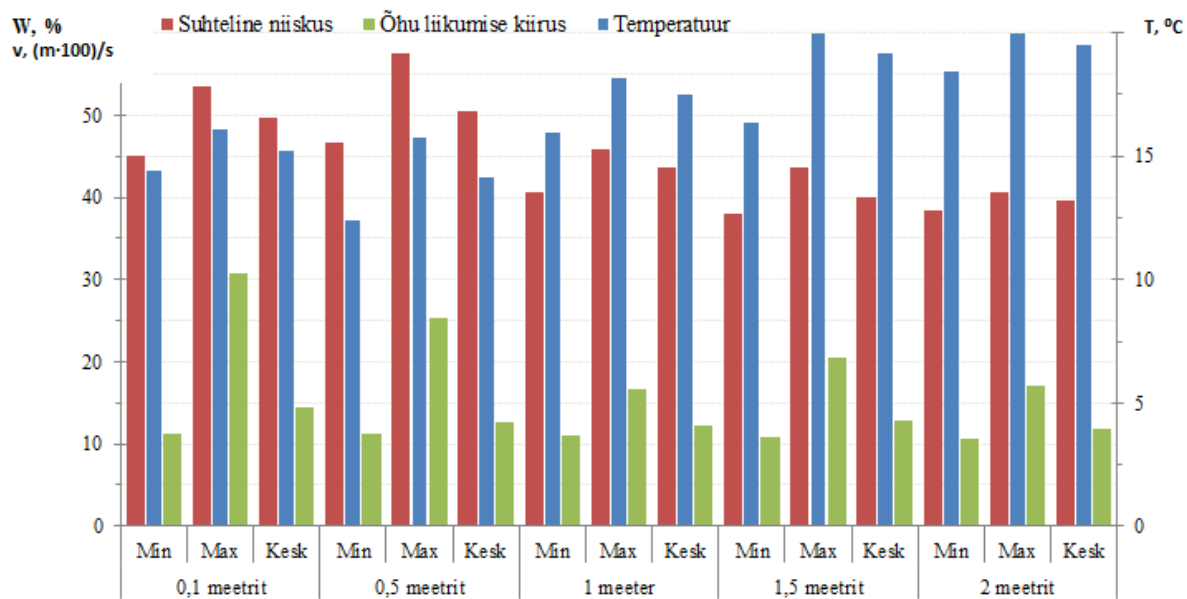
Soojustamata kuppel jahtub üsnagi kiiresti ja temperatuur võib langeda ka alla välistemperatuuri (Joonis 24). Välistemperatuuri väiksemad kõikumised ei tekita nii palju muutusi kupli sees ning sisetemperatuur on stabiilsem. Päikese loojanguga langeb kupli

sisetemperatuur järsult, kuna kupli pinda enam ei soojendata ning kattematerjal päeva jooksul kogunud soojust kinni ei pea ning jahtub kiirelt selle heade soojust juhtivate omaduste tõttu. Kuivade ja soojade ilmade korral on kõrgem õhu niiskuse sisaldus kupli sees kondenseeruva veeauru tõttu. Välisniiskus mõjutab oluliselt ka kupli sees toimuvat. Vihmasaju algusega suurenes ka kupli sees niiskuse sisaldus oluliselt (Joonis 24). Saju korral välis- ja siseniisuse vahe oli vaid 10%. See võib osutada probleemiks, kuna loomapidamise korral suureneb õhuniiskus veel söödas oleva niiskuse, joogivee ja väljaheidete niiskuse arvelt. Laudaõhu suhteline niiskus ei tohi ületada 85 %, sest seda ületades kahjustatakse nii looma kui ka lauta [13]. Mõõtmistulemustega saavutati maksimaalseks niiskuseks peaaegu kriitiline tase - 84,60% (Joonis 23). Seetõttu tuleb hoonet isoleerida rohkem väliste mõjude eest või kasutada üleliigse niiskuse eemaldamiseks vastavaid seadmeid.

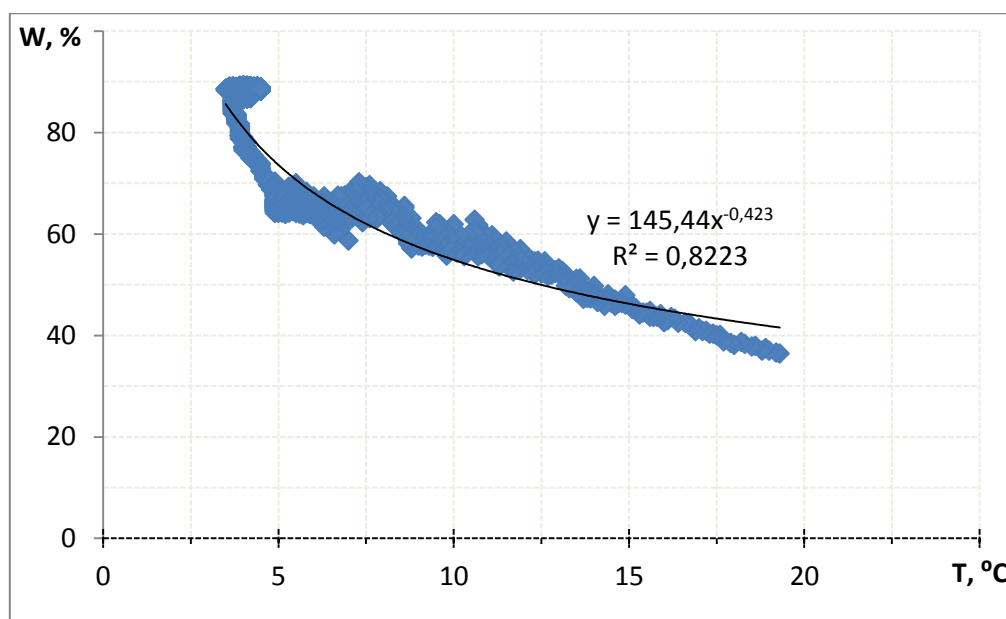


Joonis 24. 24h vältel niiskuse ja temperatuuri muutus sise- ning välistingimustes

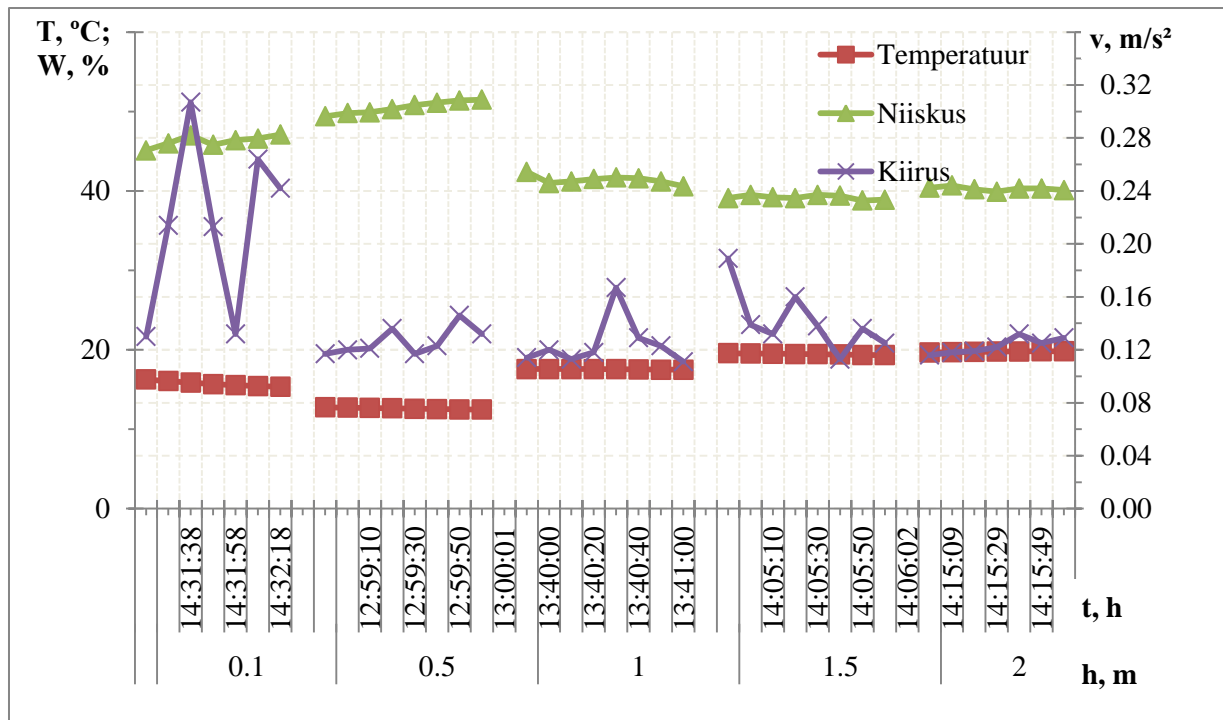
Kohtmõõtmiste korral kõrgustel 0,1, 0,5, 1, 1,5 ja 2 meetrit temperatuur kõrguse kasvades enamikel puhkudel ka tõusis (Lisa 1 kuni lisa 4). Sellega sai kinnitust fakt, et soojem õhk on kergem ning tõuseb üles poole. Niiskus kõrgema temperatuuri puhul oli languses, kuna soojem õhk sisaldab vähem veeauru. Õhu liikumise kiirus kõrguse kasvades vähenes. Seda sellepärast, et mõõteobjektiks olnud kupli alumine serv oli kergelt avatud ning sõltuvalt välise tuule kiirusest puhus tuul sealt läbi mõjutades seeläbi mõõtetulemusi (Joonis 25).



Joonis 25. Temperatuur, niiskuse ja õhu liikumise kiiruse minimaalsed, maksimaalsed ja keskmised väärtused kohtmõõtmistel.



Joonis 26. Niiskuse sõltuvus temperatuurist ööpäevas



Joonis 27. Õhu temperatuur, suhteline niiskus ja õhu liikumise kiirus mõõtmispunktis nr.2, erineval kõrgusel

Kohtmõõtmiste ajal niiskus kõrgusel 0,5 meetrit oli kõrgem teistes punktides mõõdetud väärtustest (Lisa). Temperatuur samal kõrgusel punktis number 2 oli madalam teistest punktidest. Kõrguse 0,5 meetrit mõõtmise ajal muutus välisilm võrreldes teiste kõrguste mõõtmiste aegadega . Temperatuur kuplis ei olnud veel nii palju tõusnud kui ülejäänud mõõtmiste ajal. Sellel põhjusel oli ka samal kõrgusel niiskus muudest tulemustest kõrgem. Õhu liikumise kiiruse kõikumine oli suurem 0,1 meetri kõrgusel (Joonis 27).

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli uurida, kas kuppelhoone loomulik sisekliima on sobilik lihaveisete kasvatuseks. Kupli paigaldamine on võrdlemisi odav võrreldes teiste kergethitistega, kuid peamiseks argumendiks on väga tugev ja stabiilne konstruktsioon. Antud uurimustöö ülesanneteks oli läbi viia sisekliima mõõtmised kuplis. Mõõdeti temperatuuri, suhtelist niiskust ja õhu liikumise kiirust. Mõõtmistulemustest selgus, et kupli sisetemperatuur päikeselise ilmaga on küllaltki kõrge, kuigi hele pinnakate peaks enamik päikeselt tulevast kiirgusest tagasi peegeldama. Välistemperatuuri alanedes langeb ka kupli sisetemperatuur ehk kupli soojapidavus on madal. Mõõtmistest ei selgunud kui kiiresti sisetemperatuur kasvab, kuna teisel mõõtmispäeval temperatuur üle 5°C ei tõusnud. Soojapidavuse parandamiseks tuleks leida lahendusi kupli soojustamiseks. Selgus ka, et vihmajärgi korral kuplis suhteline niiskus on välisest madalam vaid 10% võrra, ehk õhk on üsnagi niiske. Kuidas muutub niiskus vahetult peale vihmajärgi lõppu või päikese tõusuga, ei ole teada kuna planeeritud mõõtmised lõppesid siis kui sadu oli alanud ning veel kestis. Seepärast tuleks teostada mõõtmiseid pikemaajaliselt, et omada rohkem informatsiooni kuplis toimuva üle ja saada usaldusväärsemad tulemused.

Kasutatud kirjandus

1. Geodesic Dome. Kättesaadav: <http://www.dahp.wa.gov/styles/geodesic-dome> (03.05.2017)
2. What are Geodesic Domes? Super Structures Really. (2016). Kättesaadav: <http://fdomes.com/what-are-geodesic-domes/> (03.05.2017)
3. Geodesics unlimited. Kättesaadav: <http://www.geodesics-unlimited.com/theory.htm>
4. Kättesaadav: <http://pacificdomes.com/PD/faq/> (13.05.2017)
5. **Luts, V.** (2000) Veisekasvatushoonete käsiraamat. Saku: Rebellis. 185 lk
6. **Kaasik, A.** (2007). Veiste pidamine. Kättesaadav: <http://www.pikk.ee/valdkonnad/loomakasvatus/pollumajandusloomade-ja-lindude-pidamine-ja-heaolu/pollumajandusloomade-ja-lindude-pidamine/veiste-pidamine#.WSTR6NwIHU>.
7. Saastuse kompleksne vältimine ja kontroll. (2013). Tartu: Keskkonnaministeerium. Kättesaadav: http://www.envir.ee/sites/default/files/pvt_tooversioon_28_03_2014.pdf
8. **Smith, I. G.** (2011). Acceptable and Practical Precision Livestock Farming. UK: BrightAnimal. 208 lk.
9. Tootekataloog. Massey Ferguson front loaders. Kättesaadav: <http://www.intrac.lv/frontalieiekraveji-quick/en> (17.05.2017)
10. Tootekataloog. Kuhn Profile. (2011). 28 lk Kättesaadav: [https://www.kuhn.com/internet/prospectus.nsf/0/B038333AF1B67835C125795A003821E2/\\$File/Pack%20PROFILE%20GB.pdf](https://www.kuhn.com/internet/prospectus.nsf/0/B038333AF1B67835C125795A003821E2/$File/Pack%20PROFILE%20GB.pdf) (18.05.2017)
11. (2008). Siloking-Taarup söödamikser. Maamajandus. 2008 veebruar, lk 24 - 25. Kättesaadav: <Http://www.atammel.ee/Siloking.pdf> (18.05.2017)
12. Tootekataloog. Triomatic T20 Feed storage with stationary mixer for automatic feeding. (2015). Kättesaadav: <http://products.trioliet.com/triomatic-t20-automatic-feeding-system-with-stationary-mixer.html> (18.05.2017)
13. **Luts, V.** (1997). Veiste vabapidamislauad. Saku: AS Rebellis. 103 lk.
14. **Thomas, H.S.** (2009). The Cattle Health Handbook. USA: Storey Publishing. 371 lk
15. **Bartali, E. H., Wheaton, F.** (1999) CIGR Handbook of Agricultural Engineering. USA: ASAE. 359 lk
16. Riigi Teataja 16.06.2016, 13. Vastu võetud 13.12.2000. Loomakaitse seadus. (2016). Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/752892?leiaKehtiv>
17. Loomade heaolu. (2015). Kättesaadav: <https://www.agri.ee/et/eesmargid-tegevused/loomade-tervis-heaolu-ja-aretus/loomade-heaolu#nouded>
18. Riigi Teataja, 69, 1017. Vastu võetud 27.08.2009 nr 90. Nõuded veise pidamise ja selleks ettenähtud ruumi või ehitise kohta. (2009). Kättesaadav:

<https://www.riigiteataja.ee/akt/13215393>

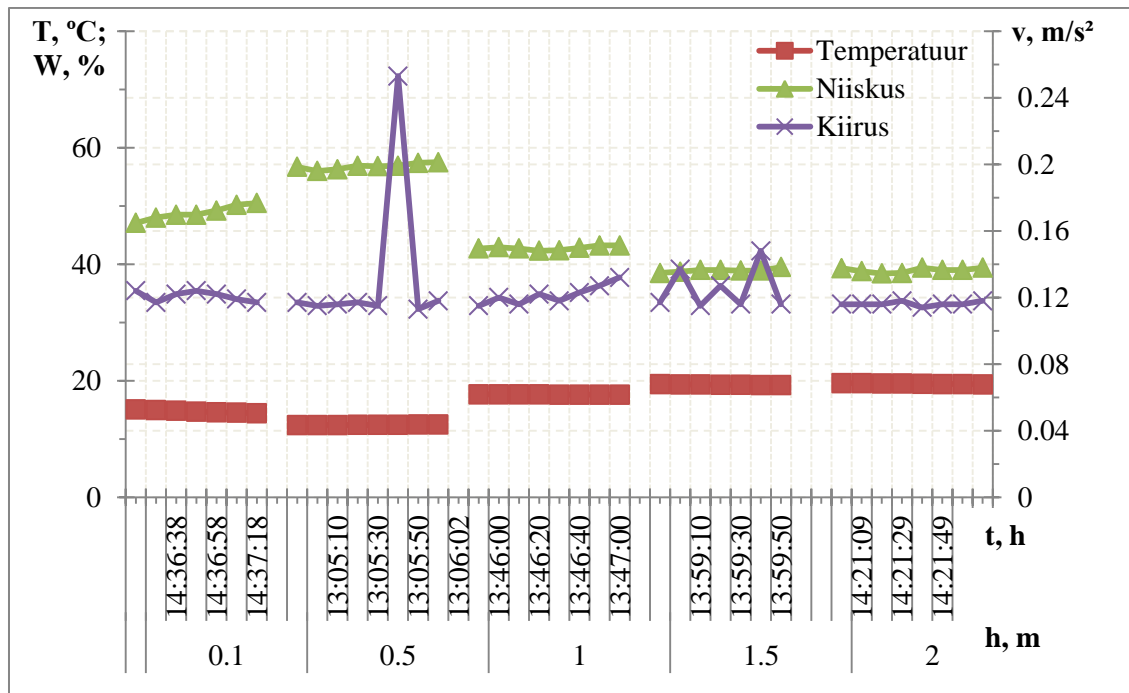
19. **Abel, E., Voll, H.** (2007). Hoonete energiatarve ja sisekliima. Tallinn: OÜ Presshouse. 249 lk
20. Kättesaadav: <http://www.trente.eu/garden-igloo-geodesic-dome-glass-airflow/> (20.05.2017)
21. **Atkinson J, Chartier Y, Pessoa-Silva CL, et al., editors.** Natural Ventilation for Infection Control in Health-Care Settings.(2009). Geneva: World Health Organization. Kättesaadav: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK143284/>
22. **Oisalu, S., Valge, J., Maasikmets, M., Klein, K.** (2007). Lõhnaained – põllumajandusest ja tööstusest. Tallinn: Balti keskkonnafoorum. 26 lk.
23. Operating Instructions – Data Logger ALMEMO 2690-8. Kättesaadav: <http://www.clarksol.com/PDF/Almemo%202690-8.pdf>

SUMMARY

The main reason for this study was to find out if the geodesic dome indoor climate is suitable for cattle breeding. First it is quite cheap to build a geodesic dome compared to the other lightweight buildings. Also the dome structure is very durable and stable. The aim of this paper was to measure the inside climate indicators: temperature, relative humidity and the speed of the air flow. From the results of measurements it turned out that the inside temperature of the dome is quite high in the sunny weather, but the light dome cover should reflect most of the sun radiation. When outside the temperatures decreased, temperature inside also decreased very quickly, so uninsulated dome can not store heat. The measurements did not reveal how fast the internal temperature increases, since the second day of measurement the temperature did not rise above 5 °C. It is necessary to find solutions to improve the insulation of the dome. It was also found that the relative humidity in the dome, when it is raining is only 10% lower than the outside so the air is quite humid. It is unknown how the moisture will change immediately after the end of the rains or after sun rising, because the planned measurements were ended when it was still raining. It is recommended to make more measurements about that topic to get more reliable results.

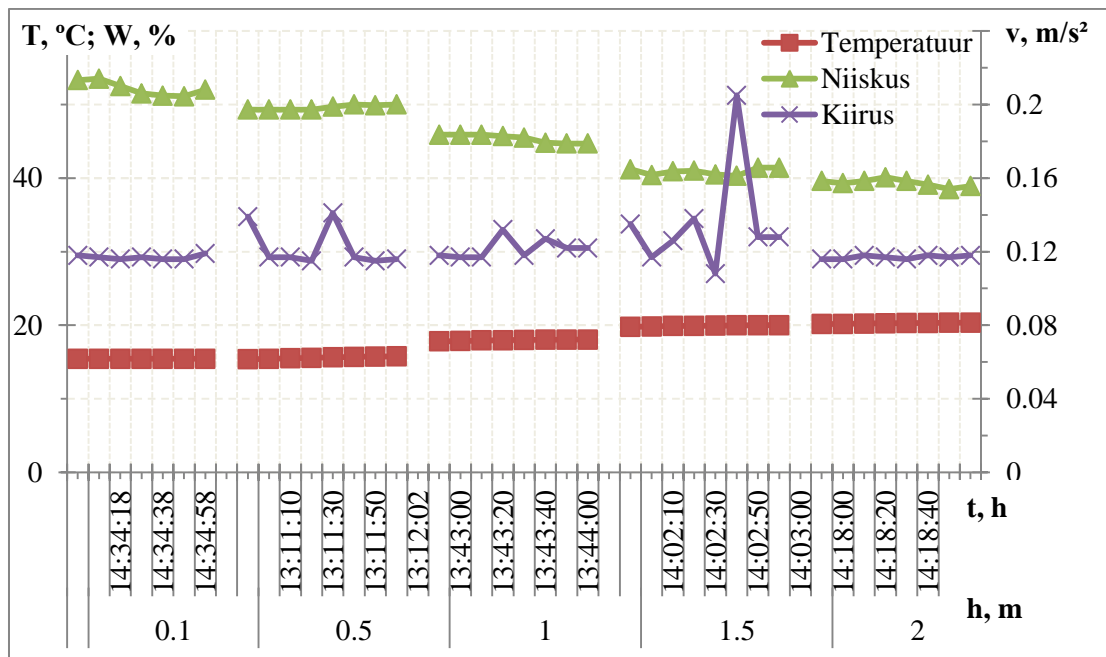
LISAD

LISA 1.



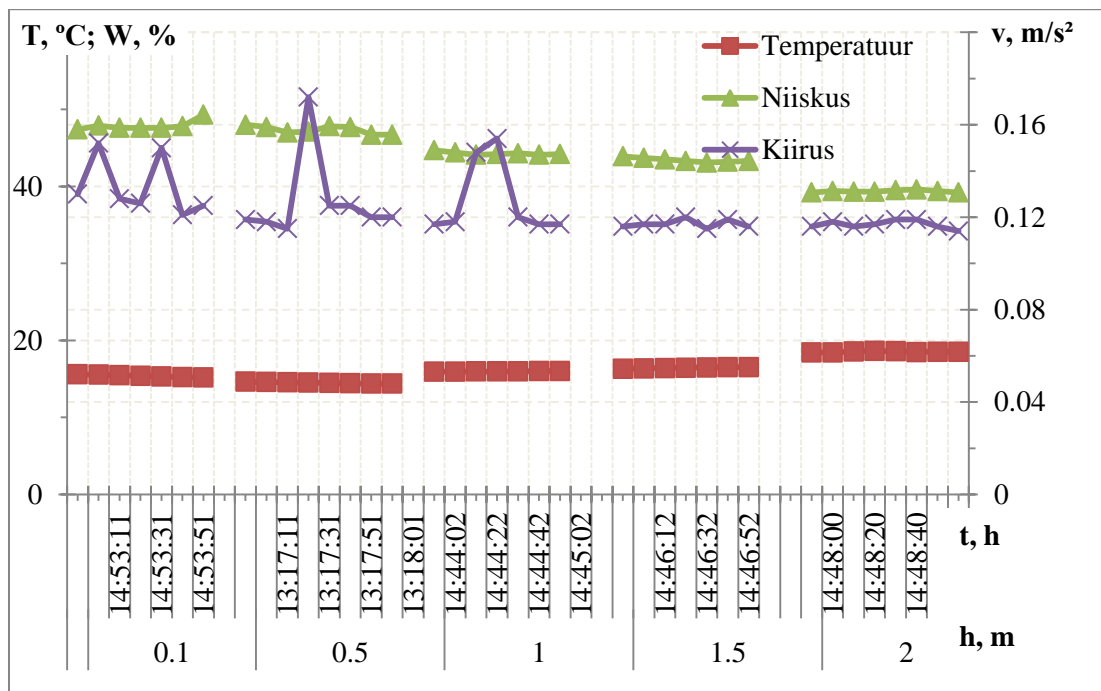
Joonis A1. Õhu temperatuur, suhteline niiskus ja õhu liikumise kiirus mõõtmispunktis nr.1, erineval kõrgusel

LISA 2.



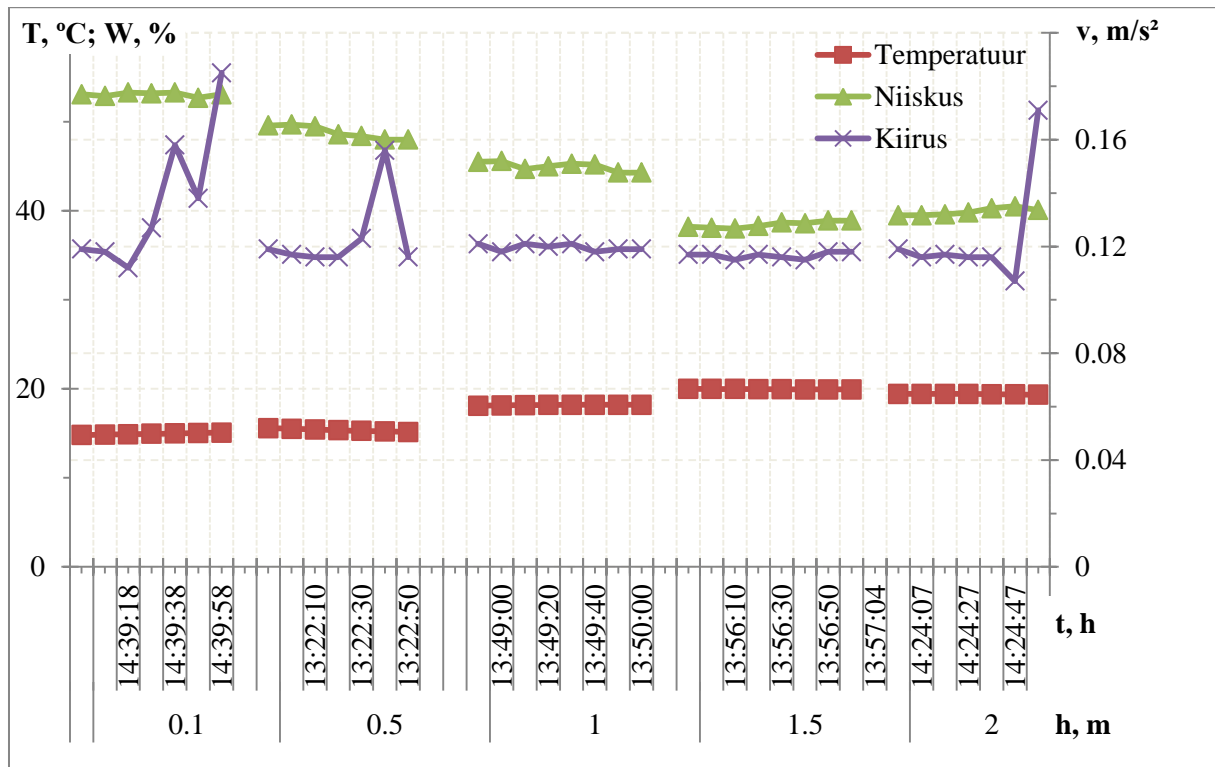
Joonis A2. Õhu temperatuur, suhteline niiskus ja õhu liikumise kiirus mõõtmispunktis nr.3, erineval kõrgusel

LISA 3.



Joonis A3. Õhu temperatuur, suhteline niiskus ja õhu liikumise kiirus mõõtmispunktis nr.4, erineval kõrgusel

LISA 4.



Joonis A4. Õhu temperatuur, suhteline niiskus ja õhu liikumise kiirus mõõtmispunktis nr.5, erineval kõrgusel

LISA 5. Lihtlitsents

Mina, Mihkel Ilves,
sünniaeg 08.04.1994,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
Kuppelhoone sobivus veisekasvatuseks sisekliima näitajate järgi,
mille juhendaja on Oliver Sada,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete
kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(allkiri)

Tartu, _____
(kuupäev)

Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)